

Möglichkeiten und Probleme bei der Anwendung der Klebtechnik

von Dr.-Ing. M. Rasche, Berlin

Nur wenn eine klebgerecht ausgeführte Konstruktion mit dem richtigen Klebstoffe nach optimaler Oberflächenbehandlung und mit angepaßten Abbindebedingungen gefertigt wird, sind Klebverbindungen von maximaler Festigkeit

und Alterungsbeständigkeit zu erzielen. Am Beispiel von Bremsbelägen wird gezeigt, daß bei einer entsprechenden Erprobung auch sogenannte Sicherheitsteile durch Kleben hergestellt werden können.

Vorteile des Klebens

Das Kleben ist eine Verbindungstechnik, die im Vergleich zu anderen Fügeverfahren Vorteile aufweist. So können mit der Klebetechnik alle gängigen technischen Werkstoffe miteinander verbunden werden, was mit anderen Fügeverfahren nur eingeschränkt möglich ist. Werkstoffe, die durch Schweißen oder Löten nur schwierig oder überhaupt nicht aneinander gefügt werden können, – z.B. Stahl und Aluminium – sind durch Kleben problemlos miteinander zu verbinden [1]. Das gilt auch für andere Eisen-Nichteisenmetall-Konstruktionen sowie für Werkstoffpaarungen aus Kunststoff und Metall, Metall und Keramik usw. Auch bei Nichteisenmetall-Nichteisenmetall-Verbindungen und Kunststoff-Kunststoff-Verbindungen bietet sich das Kleben als Fügeverfahren an, wenn das Schweißen dieser Werkstoffkombinationen nicht möglich ist, da der Werkstoff bzw. die Werkstoffkombination nicht schweißbar ist.

Die Klebeverbindung gehört zu den stoffschlüssigen Verbindungen. Diese weisen im allgemeinen ein besseres Tragverhalten auf als die kraft- oder formschlüssigen Verbindungen.

Dadurch wird eine höhere Belastbarkeit der Verbindung ermöglicht, bzw. es ist ein geringerer Materialeinsatz notwendig. So läßt sich durch den Einsatz der Klebtechnik im Flugzeugbau das Strukturgewicht eines Flugzeuges um 10 bis 15% vermindern [2].

Außerdem sind Klebverbindungen weitgehend gas- und flüssigkeitsdicht und es lassen sich großflächige Verbindungen herstellen. Auch die elektrisch isolierende Wirkung von Klebschichten läßt sich vorteilhaft nutzen. Für spezielle Anwendungen sind jedoch auch thermisch und elektrisch leitende Klebstoffe entwickelt worden.

Gründe für den Einsatz des Klebes

Die Vorteile der Klebtechnik dürften zu neuen technischen Problemlösungen führen. Eine Umfrage in den Bereichen Feinwerktechnik, Elektrotechnik und Elektronik, die von den Fachgebieten Fügeverfahren, Schweißtechnik und Feinwerktechnik der TU Berlin durchgeführt worden ist [3], bestätigt dies. Danach setzen 42% der Betriebe die Klebtechnik ein, weil sie neuartige Konstruktionen ermöglicht (Bild 1). Die Umfrage ergab weiterhin, daß die Klebtechnik von 62%

der Betriebe beim Verbinden unterschiedlicher Werkstoffe angewandt wird. Von 54% der befragten Betriebe wird die Klebtechnik wegen ihrer Wirtschaftlichkeit eingesetzt. Bei Kostenvergleichen ergaben sich für die Klebtechnik zum Teil erheblich geringere Kosten als für herkömmliche Fügeverfahren [4, 5].

Diese Aussagen der Umfrage mögen zunächst erstaunlich erscheinen, bedenkt man jedoch, daß die Klebtechnik heute z.B. in allen Pkw eingesetzt ist (Kupplungs- und Bremsbeläge werden durchweg nur noch auf den Träger geklebt, Bild 2), dann werden die Aussagen verständlich. Geklebt wird weiterhin auch im bereits erwähnten Flugzeugbau, in der Feinwerktechnik (Bild 3) und im Schermaschinenbau (Bild 4). Mit diesen Beispielen soll die Spannweite der Einsatzmöglichkeiten dargestellt werden, ohne daß die Aufzählung der Anwendungsmöglichkeiten damit vollständig wäre.

Probleme bei der Anwendung des Klebens

Neben den Vorteilen treten bei der Anwendung der Klebtechnik auch vielfältige Probleme auf, die den

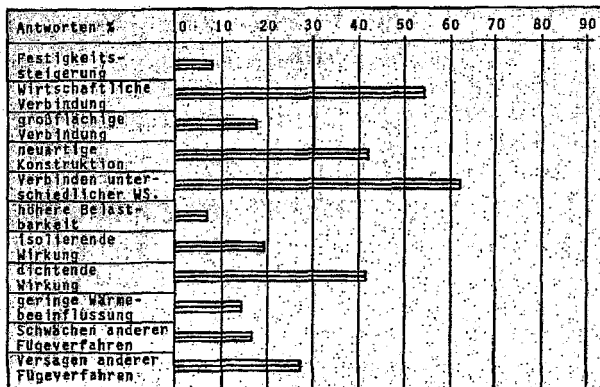


Bild 1: Gründe für den Einsatz der Klebtechnik

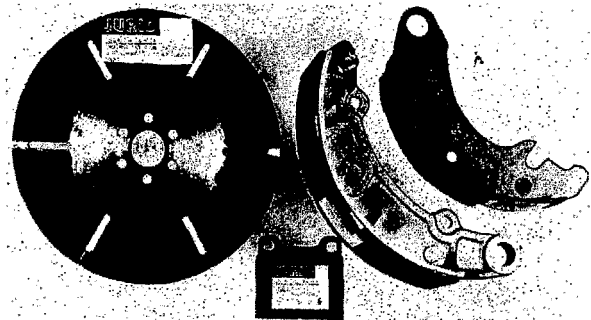


Bild 2: Auf Metallträger geklebte Kupplungs- und Bremsbeläge für den Kraftfahrzeugbau; die Kupplungsbeläge sind mit einem modifizierten Phenolharz geklebt (Bild IFAM, Bremen Lesum)

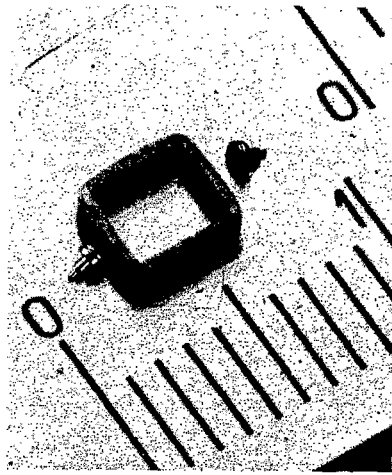


Bild 3: Zu klebende Teile in der Feinwerktechnik. Das Bild zeigt einen Spulenkörper aus isoliertem Kupferdraht für ein Zeigerinstrument. Die abgebildeten Achsen aus Stahl werden mit dem Cyanacrylatklebstoff Sicomt 85 auf dem Spulenkörper geklebt, Klebfläche 1,2 mm² (Bild: Sichel, Hannover)



Bild 4: Klebvorgang im Schwermaschinenbau, eine 8,5 t schwere Kammmwalzenwelle aus einem Walzwerk wird in einen sog. Treffer eingefügt. Die Verbindung erfolgt durch Klebschrumpfen. Anaerober Klebstoff, Casco ML, Passung von Welle und Nabe H7/k6. Zum Fügen wurde der Treffer auf 100°C erwärmt. Die Verbindung liegt im Kraftfluß des Bauteiles (Bild: Delo, München).

Einsatz erschweren oder sogar verhindern. So ergab die besagte Umfrage, daß bei 35% der Betriebe Haftungsschwierigkeiten und bei 14% Benetzungsprobleme auftreten (Bild 5). Die Ursache hierfür dürfte in den meisten Fällen auf einer unzurei-

chenden Klebflächenvorbehandlung beruhen. Dies folgt daraus, daß kaum Vorbehandlungsverfahren eingesetzt werden, die zu optimalen Klebfestigkeiten führen, wie aus Bild 6 zu entnehmen ist. Das Bild zeigt, daß 11% der Betriebe ohne Vorbehandlung kleben. Am häufigsten werden die Teile vor dem Kleben lediglich gereinigt bzw. entfettet. Das Strahlen und das Beizen der Oberfläche sowie die Plasmabehandlung und das Beschichten der Fügeteile, Vorbehandlungsverfahren, die zu maximalen Klebfestigkeiten führen, werden nur selten eingesetzt. Aus Bild 6 geht hervor, daß aufwendige Vorbehandlungen, die meist auch teuer sind, möglichst vermieden werden.

Haftungsprobleme treten vielfach beim Kleben von Kunststoffen auf, da Kunststoffe ein unterschiedliches klebtechnisches Verhalten aufweisen. Während es einerseits Klebstoffe gibt, die wie PVC problemlos geklebt werden können, gibt es andere, die nur schwer klebbar sind. Wenn Kunststoffe wie Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polytetrafluorethylen (PTFE) und Polyoximethylen (POM) ohne eine spezielle Klebflächenvorbehandlung nur nach der Reinigung der Oberflächen geklebt werden, dann sind nur geringe Klebfestigkeiten erreichbar [6]. Sie reichen für konstruktive Klebverbindungen nicht aus. Erst nach einer entsprechenden Vorbehandlung der Klebflächen können auch diese Kunststoffe hochfest verklebt werden. Bild 7 zeigt beispielhaft, wie durch Beizen von PE in Chromschwefelsäure die Klebfestigkeit gesteigert werden kann. Der anfängliche Adhäsionsbruch am PE-Teil geht infolge der Vorbehandlung in einen Materialbruch des PE-Teiles über. Damit ist bei der vorliegenden Fügegeometrie für die gewählte Werkstoffpaarung Kunststoff-Kunststoff-Metall die max. mögliche Tragfähigkeit der Verbindung erreicht.

Auch PTFE, ein Werkstoff, der häufig wegen seiner antiadhäsiven Eigenschaften verwendet wird, kann nach einer Vorbehandlung hochfest geklebt werden. In Bild 8 ist eine zerrissene PTFE-Folie zu sehen. Die Folie ist nach einer Vorbehandlung in Niederdruckplasma mit Epoxidharz auf einen verkupferten duroplastischen Werkstoff (Leiterplattenmaterial) geklebt worden. Die Festigkeitsprüfung erfolgte durch Abschälen der Folie unter einem Winkel von 90°. Beim Schälvorgang zerriß

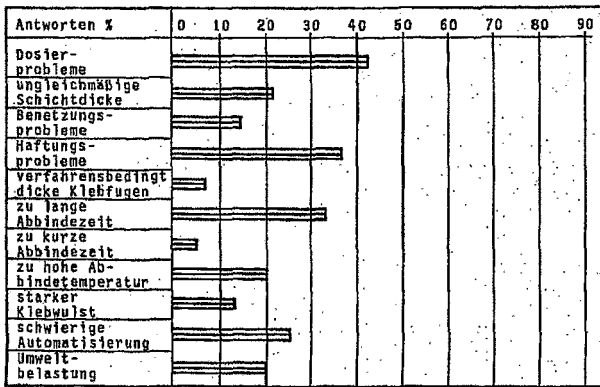


Bild 5: Bei der Anwendung der Klebtechnik auftretende Probleme

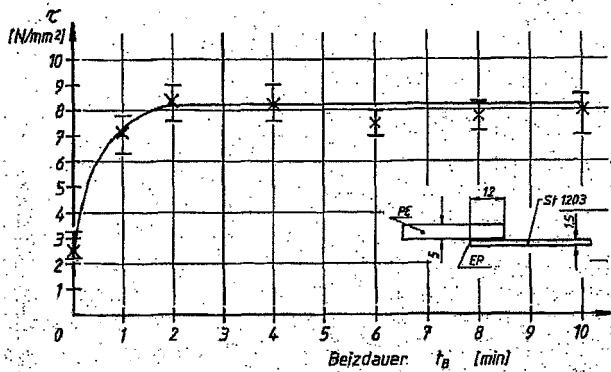


Bild 7: Festigkeit von PE-Stahl-Kleverbindingen mit Epoxidharz in Abhängigkeit von der Vorbehandlungszeit des PE in Chromschwefelsäure

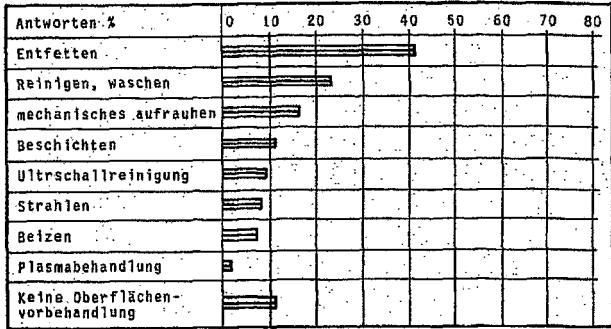


Bild 6: Häufigkeit der Anwendung von Klebflächenvorbehandlungsverfahren

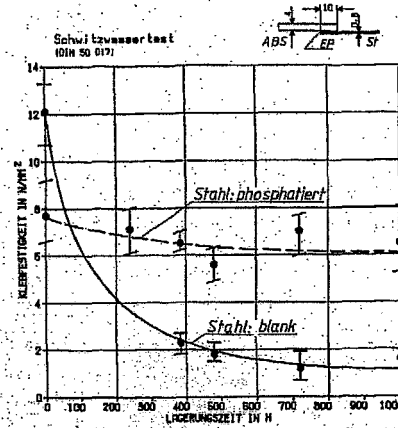


Bild 8: Bruch in einer niederdruckplasmabehandelten PTFE-Folie beim Schälversuch, die Folie ist mit kaltaushärtendem Epoxidharz auf ein Leiterplattenmaterial geklebt worden, Abschälwinkel 90°

die Folie [7]. Auch in diesem Fall ist die max. Klebfestigkeit erreicht worden.

Klebfestigkeitsverbesserungen durch Vorbehandlung sind nicht nur bei Klebstoffen möglich, sondern auch bei Metallen. So wird Aluminium gebeizt oder gestrahlt, wenn hohe Klebfestigkeiten erreicht werden sollen.

Eine Oberflächenvorbehandlung der zu klebenden Teile beeinflusst jedoch nicht nur die Benetzbarkeit und die Haftfestigkeit, sondern auch die Alterungsbeständigkeit der Klebverbindungen. Durch eine gezielte Vorbehandlung kann die Alterungsbeständigkeit von Klebverbindungen verbessert werden. Dies ist vor allem bei Metallklebverbindungen notwendig, wenn die Verbindung im Wasser oder in Bereichen mit hoher Luftfeuchtigkeit (z.B. im Freien) eingesetzt werden. Derartige Bedingungen führen bei unzureichend vorbehandelten Metallklebverbindungen vielfach zum Versagen infolge von Alterungsvorgängen.

Bild 9 zeigt das Ergebnis eines Schwitzwassertestes mit Stahl-Kunststoff-Kleverbindingen. Die Kleb-

verbindungen mit phosphatierten Blechen zeigen einen geringeren Festigkeitsverlust als die Verbindungen, bei denen die Stahlteile nur entfettet wurden [8]. Die anfänglich geringere Klebfestigkeit der phosphatierten Bleche wird durch den rapiden Festigkeitsverlust der blanken Stahlbleche bereits nach 80 h Lagerung ausgeglichen.

Als weitere Schwierigkeiten beim Einsatz des Klebens wurden in der Umfrage von 42% der Betriebe Dosierungsprobleme genannt (Bild 5), 33% der Betriebe hatten Probleme mit zu langen Abbindezeiten und 19% mit zu hohen Abbinde-temperaturen. Insgesamt wird die Automatisierbarkeit der Klebtechnik von 25% der Betriebe als schwierig angesehen. Dosierprobleme bei Klebstoffen können vielfach durch den Einsatz geeigneter Dosieranlagen behoben werden. Auch durch die Verwendung von Klebstofffolien oder -preßlingen, die entsprechend der Kleb-
stelle geformt sind, ist es möglich, dieses Problem zu lösen. Bei den zu langen Abbindezeiten der Klebstoffe kann ein Wechsel des Klebstoffes oder ein gezieltes Schnellabbinden,

ggf. nur von Teilbereichen der Kleb-
stelle, zu kürzeren Taktzeiten führen. Durch einen Wechsel des Klebstoffes dürften in vielen Fällen auch die zu hohen Abbinde-temperaturen gesenkt werden können.

Kenntnisstand bei den Anwendern

Viele der angesprochenen Probleme beim Kleben beruhen auf den zu geringen Kenntnissen der Klebstoffverarbeiter über die Klebtechnik. Dieser mangelhafte Informationsstand dürfte seine Hauptursache darin haben, daß die Klebtechnik eine noch relativ junge Verbindungstechnik ist. Somit gibt es nur wenige, die während ihrer Aus- und Weiterbildung den Umgang mit der Klebtechnik erlernt haben. Ausbildungsmöglichkeiten zum Klebfachmann sind in der Bundesrepublik – im Gegensatz zum Ausland – derzeit nicht gegeben [9]. Das gilt sowohl im Bereich der Facharbeiter als auch für Techniker und Ingenieure. Demgegenüber werden beispielsweise in der DDR schon seit Jahren entsprechende Weiterbildungskurse angeboten [10] und in Frankreich ist eine akade-



Prozeßgas: Argon Prozeßzeit: 300 s
 Abschälgeschwindigkeit: 20 ml/min

Bild 9: Klebfestigkeit von Stahl-Kunststoff-Klebverbindungen mit Epoxidharz in Abhängigkeit von der Dauer des Schwitzwassertests, Stahlblech entfettet bzw. phosphatiert

mische Ausbildung zum Ingenieur mit dem Schwerpunkt Klebtechnik möglich [2].

Zu den auftretenden Problemen trägt bei, daß wegen des geringen Kenntnisstandes die vielen Fehlermöglichkeiten bei der Anwendung oft nicht bekannt sind und daß die Klebtechnik häufig in ihrer Vielfältigkeit unterschätzt wird. Anteil an dieser Einstellung in den Betrieben dürfte auch ein Teil der Werbung für die Klebtechnik haben. Häufig wird das Kleben als einfaches und universelles Fügeverfahren dargestellt, ohne daß auf die notwendigen Voraussetzungen

gen und Randbedingungen hingewiesen wird. Dadurch kann es zu einer Unterschätzung der beim Kleben möglicherweise auftretenden Probleme kommen. Treten infolge solcher Fehleinschätzungen Mißerfolge ein, dann wird oft die gesamte Klebtechnik als unzulänglich angesehen.

In diesem Zusammenhang muß auch darauf hingewiesen werden, daß von Fachleuten der derzeitige Technologietransfer in der Klebtechnik als unzureichend angesehen wird [9]. Es soll allerdings auch nicht verschwiegen werden, daß es noch Wissenslücken beim Kleben gibt, die durch intensive Forschungsarbeit geschlossen werden müssen.

Das Kleben wird häufig auch anstelle anderer Fügeverfahren eingesetzt, wenn diese Schwächen aufweisen oder versagen (Bild 1). Wenn beim Wechsel des Fügeverfahrens die Gesetzmäßigkeiten des Klebens aus Unkenntnis nicht berücksichtigt werden, sind Mißerfolge unvermeidlich. Ähnliche Probleme traten in der Vergangenheit auf, als mit dem vermehrten Einsatz des Schweißens die Niettechnik verdrängt wurde. Als die Nietverbindungen ohne konstruktive Änderungen geschweißt wurden, stellten sich oft unerwartete Schwierigkeiten ein.

Versagensmechanismen bei Klebverbindungen

Zu beachten ist weiterhin, daß Klebverbindungen je nach Einsatzbereich und Belastung aufgrund unterschiedlicher Mechanismen versagen können. Bei zu hoher mechanischer Belastung kann es zum Bruch in den Fügeanteilen, im Klebstoff oder im Adhäsionsbereich kommen. Dies ist

vorwiegend bei einer dynamischen Belastung oder bei einer statischen Kurzzeitbelastung der Fall. Eine statische Langzeitbelastung kann zum Versagen infolge von Kriechvorgängen (kalter Fluß) führen. Weiterhin kann es infolge von Alterungsvorgängen zum Bruch im Adhäsionsbereich oder zu einer Unterrostung im Fügebereich kommen. Die Klebverbindungen müssen daher entsprechend den jeweiligen Hauptbelastungen ausgebildet und geprüft werden. Ausführliche Informationen zum Thema Klebtechnik können über die Kennziffer angefordert werden.

→ 330

Literatur:

[1] Dorn, L., G. Breuel und M. Rasche, Festigkeitsverhalten von Aluminium-Stahl-Klebverbindungen, Bleche, Rohre, Profile, 31 (1984) 6, S. 253-255
 [2] Brockmann, W., Vortrag im KfK am 29.4.1986
 [3] Marwinsky, B., Grundlagen und Anwendungen des Klebens in der Feinwerktechnik, Elektrotechnik und Elektronik, Diplomarbeit, TU Berlin, 1985
 [4] Schweiger, E. und H. Porn, Beitrag zur Wertanalyse in der Verbindungstechnik, Ingenieur Digest
 [5] N.N., Fügen mit Loctite, Firmenschrift, Loctite, München
 [6] Rasche, M., Qualitätsbestimmende Einflußgrößen bei Kunststoff-Metall-Klebverbindungen, Schweißtechnische Forschungsberichte Band 5, Düsseldorf, 1986
 [7] Dorn, L., R. Bischoff und M. Rasche, Klebflächenvorbehandlung im Niederdruckplasma, Kunststoffberater, 1984 7/8, S. 22-26
 [8] Rasche, M. und G. Breuel, Festigkeitsverhalten von Kunststoff-Metall-Klebverbindungen, TUB-Dokumentations Kongresse und Tagungen, Heft 21, 1984, Fachtagung: Fertigungssystem Kleben
 [9] Brockmann, W., Fertigungssystem Kleben, TUB-Dokumentation Kongresse und Tagungen, Heft 21, 1984, Fachtagung: Fertigungssystem Kleben
 [10] Beckert, M., Neues in der Schweißtechnik 1982, Schweißtechnik 33 (1983), S. 216

Kunststoff-Granulat

Zur Herstellung von schlagzäh und hochschlagzäh Profilen ...

... für Fenster, Rolläden und Dachentwässerungen eignet sich ein verarbeitungsfertiges Granulat aus Suspensions-Polyvinylchlorid und dem Schlagzähmodifikator auf der Basis von Chlorpolyethylen. Je nach Anwendungsgebiet enthält das Granulat entsprechende Hilfssysteme (z.B. Stabilisatoren, Gleitmittel, Pig-

mente), so daß entsprechend dem Einsatzgebiet Schlagzähigkeit, Biegefestigkeit, Licht- und Wetterbeständigkeit sowie Schwerentflammbarkeit gewährleistet sind. Das Granulat läßt sich auf den für Hart-PVC üblichen Extrusionslinien zu dick- und dünnwandigen Profilen verarbeiten. Aufgrund der relativ schnellen Plastifizierung des Materials und der durch den Modifikator reduzierten Schmelzviskosität sind optimale Halbzeugeigenschaften bei guter Oberflächenqualität über einen

breiten Verarbeitungsbereich möglich. Ausführliche Unterlagen über die Kennziffer.

VEB Chemiekombinat Bitterfeld → 331

Potentiometer

Für externen Antrieb entwickelt ...

... wurde ein neues Potentiometersystem. Es ist aufgebaut wie ein Motorpotentiometer, jedoch ohne Motor, aber mit einem rückwärtigen Getriebeausgang von 20 mm Länge und ei-

nem wahlweisen Achsdurchmesser von 6 oder 8 mm. Die Antriebsachse des Getriebes ist doppelt kugellagert, daraus ergibt sich ein minimales Axial- und Radialspiel. Als Verbindungsglied zwischen Potentiometer und Getriebeeingang wird eine bewährte kardanische Rutschkupplung eingesetzt, dadurch sind die Potentiometer mit mechanischem Anschlag gegen Überdrehen geschützt.

Ausführliche Unterlagen über die Kennziffer. **Megatron** → 332